

佐々並川ダムの振動調査

中国電力K.K. 正員 佐々木 清

1. まえがき

佐々並川ダムは、山口県佐々並川上流に昭和34年に築造された高さ67mの着肉ドーム型アーチダムであり、ダムの耐震性は保守管理上重要な問題である。このため、地震時およびダム放流時に基礎岩盤と堤体の振動観測を行ない、これに相関解析手法を適用して、ダムの安全性、監視法などについて検討したものである。

2. ダム諸元および観測設備

地震観測設備は、勝島製作所製電磁式地震計（変位計：7ヶ、加速度計：2ヶ）が、図-1の様に配置してある。

基礎岩盤	石英花崗	型式	ドーム型アーチ
常時満水位	El. 192.0	ダム高	67.4m
設計洪水位	El. 195.5	堤頂長	127m
設計洪水量	700 万	堤体厚	2.4~8.8m

表-1 ダム諸元

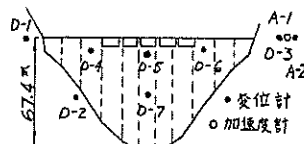


図-1 地震観測位置図

3. 現地振動実験

振動観測に先立ちダムの基本的振動性状を知るため、昭和34年に起振機による振動実験が行なわれた。其振動曲線および振動形状から、このダムの固有振動は表-2

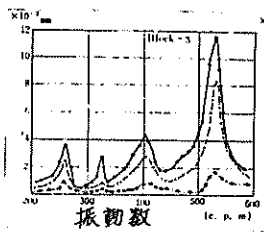


図-2 共振曲線図例

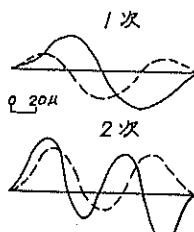


図-3 振動モード例

固有振動形	H.W.L.		L.W.L.	
	振動数 f(Hz)	減衰率 h(%)	振動数 f(Hz)	減衰率 h(%)
逆対称1次	4.3	3	5.5	1.8
対称1次	5.5	2	6.7	1.8
対称2次	6.8	3.7		
逆対称2次	8.7	2		

表-2 固有振動一覧表

のように求められた。共振曲線および振動形の例を図-2, 3に示す。これから各次数の固有振動数が非常に接近していることが解る。また振動減衰率数は小さく、3~4%以下である。

4. 地震観測

1) 地震

記録の得られた地震は右のとおりである。

2) 振動状況および振動解析結果

基礎岩盤および堤体内の測点における地震時の加速度、変位を図-4に示す。

最大振幅は、No. Iにおいて基礎300μ、堤体370μ、No. IIにおいて基礎、堤体とも100μである。

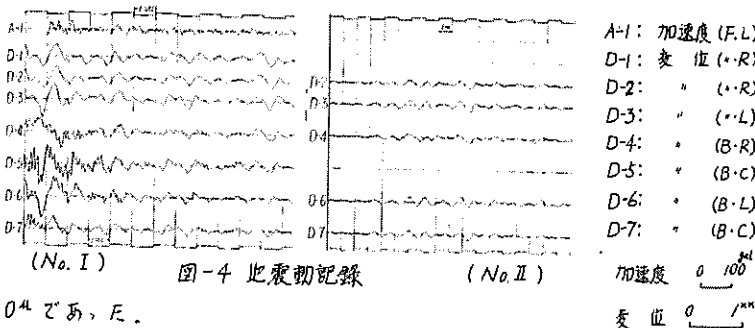


図-4 地震観測記録

地震動変位の自己相関関数 $R(\tau)$ の例を図-5に、パワースペクトル $S(\omega)$ の例を図-6に示す。またパワースペクトルで卓越した振動数を表-3に示す。

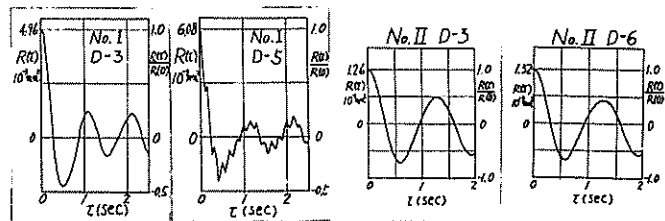


図-5 自己相関関数 (地震動変位)

地震	測 定	振 動 数 (Hz)
No. I	D-1 ~ D-3	1.0, 3.0
	D-4 ~ D-7	1.0, 3.0, 4.6
	A-1	5.8 ~ 6.2, 7.4 ~ 8.2
No. II	D-2 ~ D-3	0.8, 2.5
	D-4 ~ D-7	0.8, 2.5

表-3 卓越振動数

ここに $R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot x(t+\tau) dt$
 $S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) \cdot \cos(\omega\tau) d\tau$

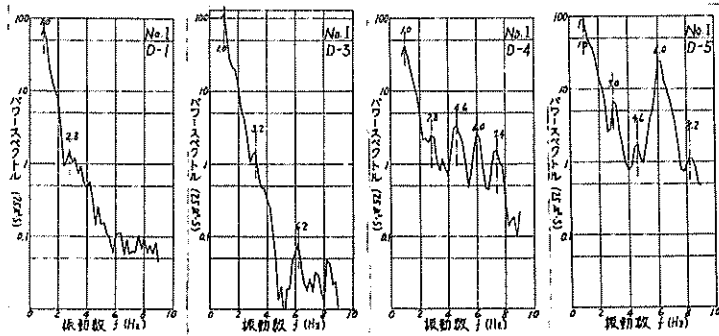


図-6 パワースペクトル (地震動変位)

これから、基礎岩盤の振動は、0.3 ~ 1秒程度の長周期の振動が極めて卓越しており、減衰率 γ は振動数 1 Hz 程度の長周期に対して 15% 程度と推定される。また基礎岩盤の各測定の動きは、両岸で位相、振幅とも殆んど等しいものである。

堤体の振動は、各測定とも基礎岩盤と同形に大きく動いており、1 ~ 3 Hz の振動数のものである。さらに、特に No. I 地震については、特定の高振動数成分の振動が顕著にみられるが、これは先の現地振動実験で確認されたこのダムの固有振動数に相当するものである。ただし対称型のものについては 1 次、2 次の固有振動数が接近しており、振動モードも類似しているためか、はっきり区分できない。

パワースペクトルを見ると、中矢印 (D-5) では対称型が特に卓越し、端部 (D-6) では大体各固有振動モードが等しくなっており、堤体中矢印と端部では振動性状が異なるようにみえるが、これは端部側では各振動モードにおいて腹筋に相当するのに対して、中矢印では対称型は腹筋に、逆対称型は筋に近いためであって、堤体各部がバラバラの異なる振動を行なっているわけではない。

5. ダム放流時の振動観測

1) ダム放流

記録の得られた、主要なダム放流を下記に示す。

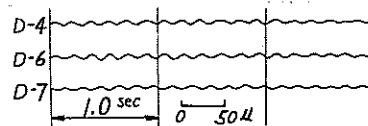


図-7 放流時堤体振動記録例

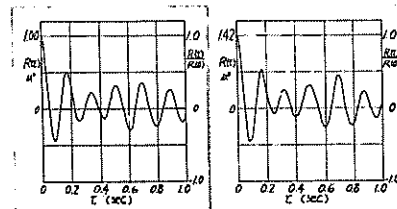
2) 振動状況および

振動解析結果

ダム放流時にあり

る堤体振動変位の例

No.	観測年月日	越流水深 (m)	越流量 (m³/s)
I	S.43. 9.25	1.18	103
II	S.44. 7. 1	0.81	60
III	S.44. 7. 8	1.21	107



(D-4) (D-6)

No. III (S.44.7.8)

図-8 自己相関関数 (堤体変位)

を (No. II)、図-7 に示す。最大振幅は D-6 において下記のようなものである。

No. I	3.4 ^u	No. II	3.5 ^u
No. II	2.6 ^u		

堤体変位の自己相関関数の例を図-8に、パワースペクトルの例を図-9に示す。(実線)

これから、堤体は5.5 ~ 6.0 Hzの振動数の振動が極めて卓越しており、さらに4.5, 7.0, 9.0 Hzのものも卓越認められる。これらはどれも理地振動実験から求められたこのダムの固有振動数に相当するものである。

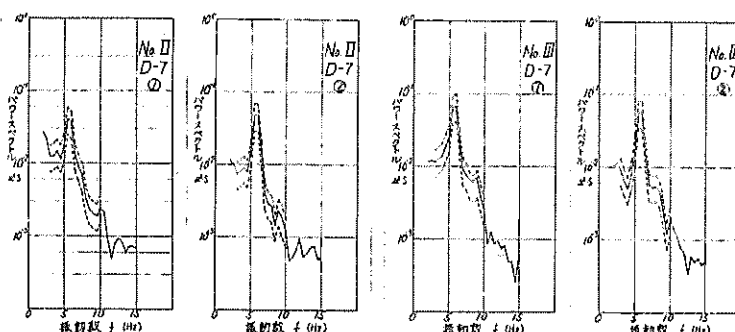


図-9 パワースペクトル(ダム放流時堤体振動変位 D-7)

6. 考 察

1) ダムの安全性について

調査例における地震については主として逆1次および対称1次の低次の基本振動形の振動がみられ、基礎岩盤の卓越振動数および堤体が連続体とした場合の固有振動数の振動が卓越していること、さらに高次の振動も幾分みられること、基礎岩盤は左右両岸とも大体同じ動きをしていることなどから、堤体および基礎は連続弾性体として挙動していると考えられる。地震力による堤体の安全性を詳細に検討するには動力学的方法による加えなければならないが、上記の振動性状からみて、耐震上、特に矛盾はないと考えられる。ダム放流時についても、感流水深1.2^m程度までは、堤体の振動変位も小さく、連続弾性体として挙動しており安全性に問題はないと考えられる。

2) 耐震性の監視法について

放流時のパワースペクトル解析結果から、堤体挙動の異常、弾性体としての歪み変化を把握できれば堤体の管理手法として有用である。図-9はTurkeyの方法によりパワースペクトルの信頼度80%の範囲と破線で示したものであり、同一感流水深におけるエネルギーは等しいことから、パワースペクトル形態の変化を統計的に把握できる可能性を示したところである。

3) 基礎岩盤の挙動について

No. I地震における基礎岩盤の挙動については、左岸側はやはり振動が大きく、右岸側領域におけるパワースペクトル形態にずれが見られることは、地震の性質もあり、地震の性質によっても異なる挙動とする事も考えられるので、今後の観測結果に留意する必要がある。また、特にNo. II地震において、基礎岩盤・堤体として同則1秒程度の長周期の振動が卓越しており、堤体において増大されることはない事から、基礎岩盤自身の持つ性質とも考えられるが、この点に関しては類似の事例もあり²⁾に検討したい。

参考文献

- 1) “佐々並川アーケダムの振動性状” 電力中央研究所 技術研究所
- 2) “アーケダムの地震観測” 岡本、加藤、伯野、宮越、土木学会論文集 No. 76
- 3) “動的現象の計測とスペクトル解析” 土岐重三、土木学会関西支部テキスト